

---

# Desarrollo de sistemas ciberfísicos

---

PID\_00247313

Joan Melià Seguí  
Pere Tuset Peiró

---

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 1 hora

---



Universitat  
Oberta  
de Catalunya

---

*Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.*

## Índice

<b>Introducción de la asignatura</b> .....	5
<b>1. Introducción a los sistemas ciberfísicos</b> .....	7
<b>2. Sistemas empotrados</b> .....	9
<b>3. Sensores y adquisición de datos</b> .....	11
<b>4. Sistemas de comunicación</b> .....	13
<b>5. Cloud computing</b> .....	16
<b>6. <i>Big data y machine learning</i></b> .....	18
<b>Bibliografía</b> .....	20



## Introducción de la asignatura

Con la invención del **circuito integrado** a finales de los años cincuenta, se abrió la puerta al desarrollo de los primeros **sistemas de automatización y control industrial** basados en tecnología digital, por ejemplo, PLC. Estos sistemas reemplazaron rápidamente los automatismos de control basados en circuitos eléctricos discretos en el ámbito industrial, tales como relés, gracias a su mayor rapidez y flexibilidad, así como su mayor fiabilidad y menor coste.

Durante las cuatro últimas décadas, hemos visto la evolución exponencial de las tecnologías de computación digital, siguiendo la previsión de la ley de Moore, del año 1968. Esta evolución sostenida a lo largo del tiempo ha permitido la miniaturización de los circuitos integrados, lo que ha incrementado sus prestaciones y reducido su consumo y coste, y esto ha permitido integrar estas tecnologías de computación digital en otros ámbitos.

Por otro lado, la evolución de las tecnologías digitales también ha permitido en los últimos años el avance en los sistemas de comunicación.

Hoy día, la confluencia de los sistemas de computación y los sistemas de comunicación de nueva generación, con más prestaciones, ha permitido la creación del concepto *sistemas ciberfísicos* (CPS, del inglés *cyberphysical systems*). Los sistemas ciberfísicos, que son uno de los pilares de la cuarta revolución industrial, se definen a partir de la conexión entre el mundo físico y el mundo digital, mediante la integración de sistemas de computación y el intercambio de datos mediante las redes de comunicación [Sifakis (2011)] para llevar a cabo la monitorización y control a tiempo real de un sistema industrial.

En un sistema ciberfísico, es importante entender que el comportamiento del sistema está definido por la interacción de los dos mundos, el físico y el digital. Por una parte, el sistema físico presenta un funcionamiento acorde con las dinámicas propias de las leyes de la física. Por otro lado, el sistema digital adquiere información de este proceso físico a través de sensores, y actúa sobre él a través de los actuadores, según un modelo programado para conseguir el resultado esperado. Por tanto, para llevar a cabo el correcto desarrollo de un sistema ciberfísico, no basta con entender los dos procesos por separado, sino que hay que tratarlos como un único elemento.

Así pues, la diferencia principal entre un sistema de automatización y control industrial clásico y un sistema ciberfísico se encuentra en la composición del mismo. Mientras que en un sistema de automatización y control industrial los elementos que lo forman operan de manera autónoma, en un sistema ciberfísico los diferentes elementos de computación distribuidos están interconectados a través de una red de comunica-

### Nota

El circuito integrado (del inglés, *integrated circuit* o IC) fue inventado por Jack Kilby, de la empresa Texas Instruments, en el año 1958. Un año más tarde, Robert Noyce, de la empresa Fairchild Semiconductor, desarrollaba su propia versión del circuito integrado basado en germanio, que solucionaba los problemas prácticos de la solución propuesta por Kilby.

### Nota

Un controlador lógico programable (del inglés *programmable logic controller* o PLC) es un sistema basado en un sistema digital que se utiliza para automatizar procesos electromecánicos. El primer **controlador lógico programable** fue desarrollado por la empresa Bedford Associates, bajo el nombre 084. Más adelante, esta empresa fundó la marca Modicon (del inglés *modular digital controller*).

### Nota

La ley de Moore, formulada por el cofundador de Intel, Gordon E. Moore, en 1965, es una ley empírica que define la ratio de ampliación del número de transistores en un microprocesador. En la actualidad, se sigue cumpliendo el hecho de que cada dos años el número de transistores aumenta aproximadamente el doble.

### Nota

El concepto de sistema ciberfísico fue propuesto a mediados de los años noventa por Edward A. Lee, profesor de la Universidad de California en Berkeley.

ción, interaccionan entre ellos y exhiben múltiples comportamientos en función del contexto.

Uno de los conceptos más novedosos relacionados con los sistemas ciberfísicos es el de avatar digital, o *digital twin*\*. Esta tecnología implica disponer de una copia digital de cualquier máquina o elemento físico. Por copia digital, se entiende un servicio basado en software que puede recibir en tiempo real (con una latencia de pocos milisegundos) información detallada del funcionamiento y propiedades de cualquier elemento físico (por ejemplo, un motor), y a su vez puede controlar el elemento físico a partir de la interacción con otros avatares digitales, otros sistemas en línea o incluso el personal de la fábrica. El éxito y la implantación masiva de esta tecnología dependerá del rendimiento de los sistemas de comunicación y, en concreto, de la implantación de las denominadas «*time sensitive networks*» (TSN), redes sincronizadas y de muy baja latencia, actualmente en proceso de estandarización\*\*.

\* Digitaltwin: <http://www.hannovermesse.de/en/news/key-topics/digital-twin/>  
\*\* TSN: <http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>

## 1. Introducción a los sistemas ciberfísicos

Como hemos visto, la industria 4.0 se basa en buena parte en la aplicación de las tecnologías de computación y comunicación digital que permiten recopilar información en las plantas de fabricación y transmitir esta información a la nube. Esta información puede viajar indistintamente entre el plano físico y el digital, interactuando entre los diferentes dispositivos y personas en el proceso productivo. Un ejemplo paradigmático de este comportamiento son los sistemas ciberfísicos, que permiten llevar a cabo este intercambio en un ámbito de dispositivo.

Teniendo en cuenta esto, en esta asignatura se presentan los conceptos básicos relacionados con el diseño de los sistemas ciberfísicos. Para ello, a continuación se hace una introducción inicial a los componentes de un sistema ciberfísico, incluyendo los sensores, los sistemas empotrados, los sistemas de comunicación y la computación en la nube (*cloud*). De manera adicional, se describen otros conceptos más generales pero relacionados con los sistemas ciberfísicos, como por ejemplo las técnicas de *big data* y *machine learning*.

Los sistemas empotrados (del inglés *embedded systems*) son un punto central de un sistema ciberfísico, pues son los encargados de las funciones más básicas de un sistema ciberfísico, así como de gestionar el funcionamiento del resto de los elementos (sensores, adquisición de señal, sistemas de comunicación, etc.). Las competencias básicas relacionadas con estos sistemas empotrados incluyen el conocimiento de su arquitectura y componentes, entender la funcionalidad de los microcontroladores, conocer las particularidades de los sistemas operativos y las técnicas de programación específicas de los sistemas empotrados, así como conocer el estado actual de esta tecnología.

Entender los conceptos básicos necesarios para la adquisición y el acondicionamiento de la señal de un sensor es importante para entender las posibilidades de los sistemas ciberfísicos. Las competencias básicas en este apartado son conocer los elementos básicos necesarios para hacer la medida de parámetros físicos; conocer los diferentes tipos de sensores y actuadores; y entender el acondicionamiento de señal y el proceso de adquisición y conversión analógico-digital de la señal de un sensor.

La conectividad también juega un papel fundamental, ya que permite establecer comunicación entre todos los elementos y personas involucradas en la industria 4.0 para el intercambio de información. La conectividad permite establecer comunicación bidireccional para la obtención de datos, la monitorización de variables de entorno y su posterior procesamiento para la toma de decisiones y el envío de instrucciones y comandos de control. Conocer y entender los fundamentos de las telecomunicaciones

es fundamental para poder sentar las bases de conceptos más aplicados como las redes de comunicaciones, y más concretamente en la comunicación vía radio. Diferentes tecnologías juegan un papel muy relevante en los sistemas ciberfísicos: tecnologías inalámbricas de corto y medio alcance utilizando bandas de frecuencia libres, redes de largo alcance y baja potencia (*low power wide area networks*), tecnologías basadas en redes celulares estándar, y la futura quinta generación de comunicaciones móviles, el 5G.

La aparición de los sistemas de gestión de la información en la nube (*cloud* en inglés) ha sido una revolución en la planificación y gestión de la infraestructura informática en las empresas. En la actualidad, y siguiendo el modelo *cloud*, la infraestructura informática (incluyendo comunicaciones, bases de datos, etc.) se puede obtener como un servicio que se comercializa bajo diferentes modelos. Los modelos PaaS (del inglés, *platform as a service*), IaaS (*infrastructure as a service*) y SaaS (*software as a service*) son ejemplos de la evolución del mercado hacia este modelo. Además del uso de sistemas *cloud*, van apareciendo nuevos conceptos que se espera que sean de aplicación general en el ámbito de la industria 4.0, y más concretamente en los sistemas ciberfísicos, como por ejemplo el *fog computing*. Este concepto propone hacer un primer procesado de los datos «cerca» del nodo en el que se han capturado («cerca» implica cercanía física), lo que permite reducir la cantidad de datos que el sistema de comunicaciones debe transmitir y, en consecuencia, reducir el tiempo de procesado inicial, además de otras mejoras como un incremento en la seguridad y privacidad.

Finalmente, el desarrollo de sistemas ciberfísicos generará una gran cantidad de datos que se deberán gestionar y procesar con métodos específicos, que permitan un uso eficiente e «inteligente». Para ello, se propone utilizar técnicas de *big data* y aprendizaje automatizado. En nuestra aproximación al *big data*, se van a describir los fundamentos del análisis de datos y las técnicas de *big data* para poder convertir los datos almacenados en información útil para la empresa, así como métodos eficientes y automáticos para extraer información de los datos mediante aprendizaje automatizado (*machine learning* en inglés). Uno de los elementos clave en este punto es el uso de bases de datos no relacionales.



## 2. Sistemas empotrados

Los sistemas empotrados (o embebidos) son el pilar central de los sistemas ciberfísicos, pues se encargan de adquirir y procesar los datos digitales del proceso físico obtenido a partir de la medición y adquisición de señal.

Un sistema empotrado es un ordenador que está totalmente integrado en el dispositivo que controla y que, por tanto, tiene una funcionalidad y un uso específicos. Como cualquier ordenador, los sistemas empotrados constituyen un sistema computacional fruto de la combinación de hardware y software, con el objetivo llevar a cabo una funcionalidad determinada. Habitualmente, forman parte de un sistema completo o con funcionalidades más generales.

Una de las características principales de un sistema empotrado, y que lo diferencian de un ordenador de propósito general, es que está diseñado y programado para ejecutar una funcionalidad o un conjunto de funcionalidades preestablecidas y no modificables por el usuario, en contraposición al diseño de un ordenador de propósito general, que podrá ejecutar un amplio abanico de funcionalidades diferentes. En casos determinados, el usuario podrá configurar ciertas posibilidades, o elegir entre determinadas opciones, pero no podrá modificar las funcionalidades mencionadas. Por ejemplo, un usuario podrá elegir entre diferentes programas de lavado en una lavadora (previamente programados en su sistema empotrado), pero no podrá modificar el programa de lavado en sí.

En el corazón de los sistemas empotrados se encuentra el microcontrolador, que es el encargado de ejecutar cada una de las tareas del sistema. La miniaturización de los componentes electrónicos ha permitido reducir el tamaño y coste de estos dispositivos, manteniendo o incluso mejorando sus prestaciones. Esto ha permitido la generalización de los sistemas empotrados en los dispositivos que rodean nuestra vida diaria, así como en los procesos industriales. Además del microcontrolador, el sistema operativo que permite operar el sistema empotrado, así como su programación, son los elementos principales en un sistema empotrado.

En la década de los setenta, aparecieron los primeros microcontroladores de 8 bits producidos por Motorola (M6800) e Intel (8080), junto con las primeras memorias programables. Los microcontroladores llevaban a cabo tareas sencillas, pero que permitían sustituir diseños de hardware muy complejos por sistemas programables mucho más sencillos, por lo que rápidamente se convirtieron en elementos imprescindibles dentro de la industria.

### Ejemplo: robot de limpieza

Un ejemplo de sistema empotrado lo podemos encontrar en los robots de limpieza. Estos dispositivos, que hacen tareas de limpieza de forma autónoma, incorporan un ordenador empotrado que permite el procesamiento de los datos provenientes de los sensores, la navegación del robot y la configuración por parte del usuario.

### Nota

El microcontrolador (del inglés, *microcontroller unit* o MCU) fue desarrollado por Gary Boone y Michael Cochran, de la empresa Texas Instruments, en el año 1971. A diferencia de un microprocesador, un microcontrolador integra todos los elementos necesarios para el desarrollo de un sistema funcional (microprocesador, memoria RAM/ROM, reloj y otros periféricos) en un único circuito integrado.

La evolución de los sistemas empotrados ha incrementado sus posibilidades, a la par que su complejidad. Los actuales sistemas empotrados utilizan sistemas operativos similares a los de los ordenadores de propósito general, aunque adaptados a las características más limitadas de los sistemas empotrados. Estos sistemas operativos deben proporcionar robustez, eficiencia, fiabilidad, seguridad y la posibilidad de interacción con dispositivos físicos. Estas características son más importantes, si cabe, en el contexto industrial. Ejemplos de sistemas operativos para ordenadores de propósito general, que tienen versiones para sistemas empotrados, son:

- Windows: que dispone de las versiones CE (en desuso) y *Embedded*.
- Linux: por ejemplo, *Embedded Debian*.
- Otros sistemas basados en UNIX, como FreeBSD o Android.

Del mismo modo, la programación de estos sistemas se ha ido acercando a la de los ordenadores de propósito general, pero siempre teniendo en cuenta las necesidades y particularidades de los sistemas empotrados, sobretodo en el contexto industrial. Si los sistemas empotrados originales se basaban en la programación mediante lenguaje ensamblador, en la actualidad es posible programar un sistema empotrado utilizando C, C++ o incluso Java.

Los sistemas empotrados deben interactuar con una gran variedad de dispositivos analógicos y digitales. Desde el procesado de información proveniente de sensores, a su almacenamiento, o la transmisión de la información mediante conexiones de red, requiere funcionalidades específicas que, en muchos casos, serán únicas para cada dispositivo con el que se interactúa. El sistema empotrado deberá ser capaz de interactuar con diferentes estándares de comunicación. Por ejemplo, serán habituales los siguientes estándares de comunicación cableada: RS-232, RS-485, SPI, I<sup>2</sup>C, CAN, o USB, o los estándares de comunicación inalámbrica Wi-Fi, GPRS, UMTS, etc.

Para resumir, la tarea de desarrollar un sistema empotrado es heterogénea y requiere que el desarrollador tenga un amplio abanico de habilidades y conocimientos. En el siguiente apartado, destacamos la importancia de los sensores y la adquisición de datos en los sistemas ciberfísicos.

### 3. Sensores y adquisición de datos

Otro elemento fundamental para el desarrollo de un sistema ciberfísico son los sensores y el proceso de adquisición de datos, pues son estos los encargados de permitir a los sistemas de computación digital interactuar entre el mundo físico y el mundo digital. Precisamente, la capacidad de interacción entre el mundo digital y el mundo físico es una de las claves del desarrollo de la industria 4.0.

La interacción entre el mundo físico y el digital puede ser bidireccional. Por un lado, un sistema ciberfísico debe poder adquirir información del entorno físico recogiendo la información procedente de variables o magnitudes físicas, y trasladarla al entorno digital para su posterior tratamiento, visualización y almacenamiento, lo que se consigue mediante un sistema de medida (basado en sensores). Por otro lado, un sistema ciberfísico puede trasladar información digital al mundo físico y producir variaciones o perturbaciones mecánicas o eléctricas, a partir de señales de control generadas por el procesador del sistema ciberfísico. Esto se consigue mediante el uso de actuadores.

De este modo, los sistemas de medida y actuación funcionan como interfaces entre el mundo físico y el digital, lo que permite trasladar información del entorno físico a las diferentes capas del entorno digital (procesador y memoria del sistema ciberfísico, sistema de comunicación, nube, etc.) y viceversa.

La exactitud y la precisión de la medida y adquisición de los parámetros físicos dependen de distintos factores, que es imprescindible conocer para el correcto desarrollo de un sistema ciberfísico. Además de la tipología y calidad del sensor, la etapa de acondicionamiento de señal de un sistema de medida determina la calidad final de la medición. Es decir, la arquitectura de diseño y la adecuación de los circuitos electrónicos utilizados resultan igual de importantes, o más, que el propio sensor. El objetivo final de la etapa de acondicionamiento de señal es proporcionar una señal eléctrica (procedente del sensor) adecuada para la conversión analógico-digital, en la que se debe transformar un nivel de tensión eléctrica continua a un valor discreto que se codificará mediante un conjunto de bits.

El acondicionamiento para la conversión analógico-digital de señal se compone de distintas etapas que, en función del tipo de sensor (entre otros parámetros), tendrán características diferentes. En primer lugar, la mayoría de los sensores reaccionan a los cambios en la medición de una magnitud física mediante la variación de la impedancia (resistencia, capacidad, o inductancia). Esta variación debe poder convertirse a un nivel de tensión eléctrica continua. En segundo lugar, la señal eléctrica generada por los sensores suele tener niveles de tensión muy pequeños. Para mejorar la resolución y sensibilidad de la medida, se hace necesario amplificar la señal. Con esto se con-

sigue adaptar el rango de tensión eléctrica obtenida a partir del sensor, para que se adecúe al rango de entrada del convertidor analógico-digital. Finalmente, es posible que se deban hacer otras funciones para obtener una medición con la máxima precisión y exactitud. Por ejemplo, la presencia de ruido o interferencias puede eliminarse o atenuarse mediante el uso de filtros.

La última etapa que debe hacer un sistema ciberfísico para trasladar la medición de una magnitud física al entorno digital es, precisamente, la conversión analógico-digital. Esta conversión consiste en trasladar un nivel continuo de tensión eléctrica en un valor discreto, que pueda representarse mediante un conjunto de bits. De este modo, el sistema ciberfísico podrá procesar, tratar, visualizar, almacenar o transmitir las medidas en cuestión.

Si el sistema ciberfísico utiliza un sensor digital, la señal de salida del sensor es directamente digital y, por tanto, se puede prescindir de esta última etapa. En cambio, si se emplea un sensor analógico, la medición proporcionada es analógica (y por tanto, es una señal continua), y hace necesaria la conversión analógico-digital. La característica continua o discreta de la señal no hace referencia únicamente a la amplitud (por ejemplo, el nivel de tensión eléctrica), sino también al componente temporal de la señal. Por ello, una señal es continua cuando está definida para cualquier instante de tiempo, y discreta cuando solo está definida para instantes determinados.

Finalmente, el proceso de conversión de una señal analógica en una señal digital está dividido en tres etapas diferenciadas: muestreo, cuantificación y codificación. El muestreo consiste en tomar valores de la señal analógica de entrada en intervalos fijos de tiempo. Cada uno de estos valores se ajusta al valor más cercano entre un conjunto finito de valores discretos, en lo que se conoce como cuantificación. Cuanto mayor sea el conjunto disponible de valores discretos, mejor será la conversión. Finalmente, cada valor discreto pasa por el proceso de codificación, en el que se le asigna un código digital que será el resultado final de la etapa de medida y adquisición de señal en el sistema ciberfísico.

Como se ha comentado con anterioridad, la obtención de una medida codificada digitalmente permite al sistema ciberfísico procesar, tratar, visualizar, almacenar o transmitir las medidas en cuestión. El elemento encargado de trasladar esta medida del sistema empotrado a la nube, o a cualquier otro dispositivo, es el sistema de comunicación.

## 4. Sistemas de comunicación

Los sistemas de comunicación son otra de las columnas esenciales sobre las que se asientan los sistemas ciberfísicos, y permiten establecer comunicación entre los diferentes sistemas y personas involucradas en la industria 4.0. La conectividad permite el intercambio de información, la extracción de datos fuera del propio sistema ciberfísico para la monitorización de variables de entorno, y su posterior procesamiento para la toma de decisiones (por ejemplo, en el *cloud*).

Los sistemas de comunicación pueden dividirse en dos grandes grupos: la comunicación cableada y la comunicación inalámbrica. Esta no deja de ser una división arbitraria, por la gran heterogeneidad de tecnologías que los dos grupos incluyen, desde tecnologías de corto alcance, hasta largo o muy largo alcance. En cualquier caso, nos permite dividir de una forma esencial los retos y necesidades de cada grupo, en especial considerando los requisitos y las particularidades del entorno industrial.

Las comunicaciones cableadas ofrecen, en general, una mayor fiabilidad y robustez en la transmisión y recepción de la información. La utilización de un soporte físico para la comunicación, como por ejemplo el cable de cobre o la fibra óptica, reduce la posibilidad de sufrir interferencias y permite la comunicación bidireccional de forma simultánea (lo que se conoce como *full-duplex* en inglés), lo que normalmente permite mayores tasas de transferencia de información y mayores distancias de comunicación. La comunicación cableada permite, además, asegurar el acceso al medio de transmisión, algo que resulta crítico en aplicaciones industriales de control, que necesitan latencias muy bajas para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas productivos. Desde tecnologías comunes como Ethernet, a tecnologías específicas de comunicación industrial como MODBUS o HART, son susceptibles de aplicarse en sistemas ciberfísicos.

A diferencia de las comunicaciones cableadas que se hacen sobre un soporte físico, las comunicaciones inalámbricas utilizan el espectro radioeléctrico, motivo por el cual también se denominan comunicaciones «por radio». Las comunicaciones por radio ofrecen muchas ventajas respecto a las comunicaciones por cable, y que son de particular interés para los sistemas ciberfísicos. Del mismo modo, también presentan limitaciones en la aplicación en soluciones para los sistemas ciberfísicos y la industria 4.0.

Existe una gran variedad de tecnologías que pueden aplicarse en el desarrollo de sistemas ciberfísicos. Elegir una u otra dependerá de un conjunto de factores y requisitos, entre los cuales podemos destacar:

- **Ancho de banda:** un sistema de comunicación debe poder asumir la transferencia de información necesaria para cada aplicación. No tiene la misma necesidad de ancho de banda la transmisión del valor de un sensor, que la transmisión de vídeo de alta definición en tiempo real.
- **Alcance:** los sistemas de comunicación tienen alcances diferentes, desde pocos centímetros hasta decenas de kilómetros.
- **Número de dispositivos:** la capacidad de cada sistema de comunicación en relación con el número de usuarios determina el diseño de cada solución.
- **Nivel de interferencia:** algunos sistemas de comunicación son más resistentes a la presencia de ruido, lo que permite su funcionamiento aunque sea con un rendimiento menor.
- **Consumo energético:** este requisito es especialmente importante si el sistema se alimenta a partir de baterías.
- **Necesidad de movilidad:** algunos sistemas de comunicación están especialmente diseñados para tener un buen rendimiento en movilidad.

En función de los requisitos y necesidades anteriores, las tecnologías inalámbricas más comunes, y susceptibles de integrarse en el desarrollo de un sistema ciberfísico, son las siguientes:

### 1) **Tecnologías sin cables de corto y medio alcance, basadas en estándares:**

Son las tecnologías de comunicación por radio que permiten transmitir datos a distancia mediante bandas de frecuencia, y por cuyo uso no hay que pagar ningún tipo de licencia. Estas bandas frecuenciales se reservan para uso industrial, científico y médico, y son conocidas como bandas ISM por su acrónimo en inglés. Entre ellas, las más populares son RFID, Bluetooth y Bluetooth Low Energy (BLE), tecnologías basadas en el estándar IEEE 802.15.4 (Zigbee y variantes), y las tecnologías basadas en el estándar IEEE 802.11 (Wi-Fi y variantes).

### 2) **Redes LPWA (*low power wide area networks*) para comunicaciones a grandes distancias:**

Las redes LPWA surgen del desarrollo y la progresiva adopción de las aplicaciones basadas en el internet de las cosas, ya que con anterioridad no había disponible ninguna tecnología capaz de ofrecer, de manera eficiente, conectividad para unos dispositivos que tienen que transmitir pocos datos, a mucha distancia de la estación base, y consumiendo el mínimo posible de energía. Los principales ejemplos de esta tecnología son Sigfox y LoRa.

### 3) **Tecnologías basadas en redes celulares estándar (tecnología 2G, 3G, 4G):**

Consiste en las diferentes tecnologías y estándares que, hasta hoy, han dado cobertura, por ejemplo, a nuestros teléfonos móviles. La llegada del internet de las cosas, que

ha promovido nuevos conceptos como el de industria 4.0, ha hecho que estas tecnologías evolucionen para satisfacer, también, las necesidades de las comunicaciones entre máquinas, llamadas comunicaciones M2M o MTC, del inglés *machine-to-machine* y *machine-type communications*, respectivamente. Las comunicaciones celulares incluyen las tecnologías GSM/GPRS de segunda generación, la tecnología UMTS de tercera generación (3G), la tecnología LTE de cuarta generación (4G), así como las tecnologías específicas para las comunicaciones entre máquinas: LTE-M, EC-GSM y NB-IoT (en proceso de estandarización)\*.

\* GSMA NB-IoT:  
<https://www.gsma.com/iot/narrow-band-internet-of-things-nb-iot/>

#### 4) **Tecnología basada en la quinta generación de comunicaciones móviles, el 5G:**

5G será la siguiente generación de redes de comunicaciones móviles, diseñada para satisfacer las necesidades específicas de actores verticales, es decir, aquellas empresas o entidades dedicadas a un sector económico concreto. La tecnología de quinta generación no se trata tan solo de una nueva generación de comunicaciones móviles. Se trata de un nuevo concepto de red que permite la integración de distintas redes de acceso, heterogéneas y complementarias, inalámbricas y cableadas, que permitan una gestión y control unificados y simplificados. Los campos relacionados con la industria 4.0 (incluyendo logística), la seguridad, las *smart cities*, la energía (incluyendo los avances en *smart grids*) o la movilidad se beneficiarán de la revolución que implica el 5G.

La integración de sistemas de comunicación en los sistemas ciberfísicos permite la extracción de la información física y su transmisión por las redes de comunicación. Una de las tendencias actuales en el campo de la gestión de la información y su almacenamiento es el uso de los sistemas de computación en la nube, más conocido por su denominación en inglés, *cloud computing*.

## 5. Cloud computing

Debido al gran número de datos proporcionados por los sensores y servicios que funcionan en una industria, se hace necesario el uso de una plataforma informática suficientemente potente y flexible, capaz de manejar una gran cantidad de datos. En la actualidad, existen dos tendencias principales para la gestión y el almacenamiento de los datos generados en una empresa o industria: la gestión interna de la información y la gestión mediante *cloud*.

Por un lado, existe el modelo tradicional, en el que la propia empresa despliega una infraestructura interna para la gestión de la información generada. En este caso, la propia empresa se hace responsable de todos los aspectos relacionados con la gestión de la información, incluyendo actualizaciones, escalabilidad o la seguridad de la información y la propia infraestructura. Esta solución es apta para grandes empresas, que cuentan con una gran cantidad de recursos. Hasta hace poco tiempo, esta era también la solución adoptada por el resto de las empresas, pero esto ha cambiado en los últimos años. La tendencia actual en la industria y otras áreas es optar por soluciones «en la nube» (*cloud* en inglés).

La aparición de la nube ha sido una revolución en la planificación y gestión de la infraestructura informática en las empresas. Con la reducción de costes de adquisición y operación de los sistemas, y los nuevos modelos de negocio en cuanto a la gestión y distribución del software, la estrategia empresarial a la hora de diseñar los sistemas informáticos de la empresa ha evolucionado hacia una nueva dimensión.

En la actualidad, y siguiendo el modelo *cloud*, la infraestructura informática (incluyendo comunicaciones, bases de datos, etc.) se puede obtener como un servicio que se comercializa bajo diferentes modelos. El *platform as a service* (PaaS), *infrastructure as a service* (IaaS), o el *software as a service* (SaaS) son ejemplos de la evolución del mercado hacia este modelo.

Junto con el *cloud*, han aparecido nuevos conceptos o variaciones que se presentan como soluciones alternativas o paralelas al reto de la computación en la nube. Uno de estos ejemplos es el *fog computing*. Este concepto es un término medio entre la computación clásica (computación en un único dispositivo) y la nube, y acerca la computación de los datos hacia donde está la toma de los mismos, pero con los servicios y la visión global de la filosofía *cloud*. Hacer un primer procesamiento de los datos «cerca» del nodo en el que se han capturado (por ejemplo, una pasarela que recoge datos de sensores) permite reducir la cantidad de datos que hay que transmitir por un sistema de comunicaciones y, en consecuencia, reducir el tiempo de procesamiento inicial. Adicionalmente, se pueden conseguir otras mejoras como reducir problemas de



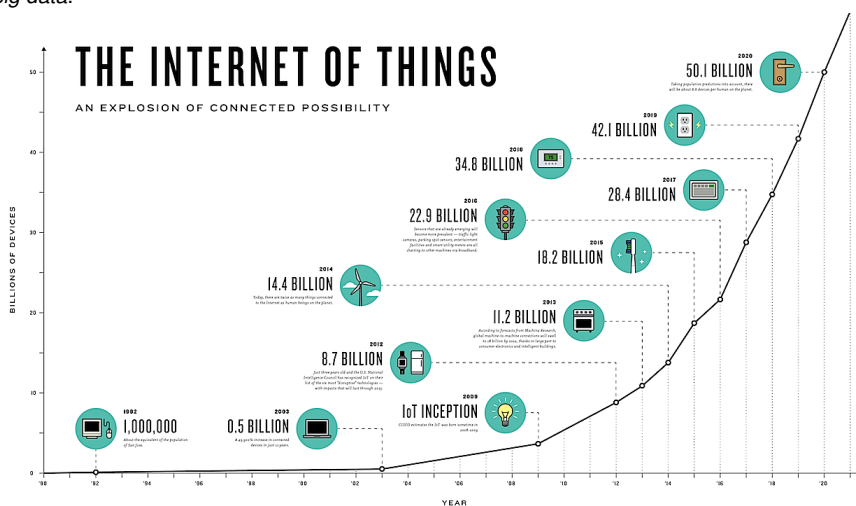
seguridad o privacidad. Por ejemplo, si la pasarela solo transmite datos agregados de distintos nodos, se reduce el problema de la privacidad de los diferentes nodos.

Más adelante, se ampliará el estudio del *cloud* incorporando un análisis de los principales proveedores y las opciones que proporcionan, con un análisis crítico de las mismas, tanto respecto a las distintas soluciones tecnológicas que ofrecen como a los costes asociados para algún caso concreto.

## 6. Big data y machine learning

La industria 4.0 se caracteriza por la elevada, incluso extrema, automatización de procesos productivos, así como la completa transformación digital de las empresas y de la industria. Un componente fundamental para lograr esta automatización es la capacidad de analizar los datos obtenidos para tomar decisiones «inteligentes». Dados la ingente cantidad de datos que se espera poder recolectar mediante el uso de sistemas ciberfísicos en la industria, y el carácter exponencial del internet de las cosas (véase figura 1), vía colaboración de las personas, o a través de internet, esta disciplina ha recibido el nombre de *big data*.

Figura 1. El carácter exponencial del internet de las cosas abre nuevos escenarios como el *big data*.



Fuente: The Connectivist.

En nuestra aproximación al *big data*, se van a describir los fundamentos del análisis de datos y las técnicas de *big data* para poder convertir los datos almacenados en información, la información en conocimiento, y el conocimiento en inteligencia competitiva. En este último estadio del procesamiento de datos, somos capaces de generar valor en la industria y el resto de las áreas donde se aplica el *big data*. Para ello, será necesario disponer de métodos eficientes y automáticos para el procesado de los datos. Por ejemplo, métodos que permitan encontrar correlaciones a partir de centenares de características obtenidas por los sistemas ciberfísicos de una industria, o métodos que permitan predecir automáticamente aquellos equipos que se averiarán en el periodo de un mes. Este conjunto de técnicas se conocen como aprendizaje automatizado (*machine learning* en inglés).

Para afrontar el reto de entender y aplicar las técnicas de *big data* y *machine learning* en la industria 4.0, se introducirán sus fundamentos para familiarizar al lector con los conceptos generales y los términos que se usarán en adelante, incluyendo los procedimientos de gestión de datos y el propio uso de los datos.

También se trabajará el concepto de *open data* y su papel relevante en la visión de la industria 4.0, así como las técnicas de *big data* para adquirir inteligencia competitiva a través del procesado de los datos recolectados del entorno.

Finalmente, se introducirá un concepto clave para el funcionamiento de los sistemas *big data* y *machine learning* como son las bases de datos no relacionales. El uso de estas bases de datos, con mucha mayor flexibilidad que las bases de datos relacionales tradicionales, está adquiriendo un papel fundamental en el despliegue de cualquier solución profesional para la industria 4.0.

## Bibliografía

**Sifakis, J.** (2011). «A vision for computer science-the system perspective.» *Central Europ. J. Computer Science*, volumen 1 (n.º 1, págs. 108–116).